

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Měření nabíjejších a vybíjejších charakteristik akumulátorů NiMH pro vzdálenou laboratoř

Measurement Charge and Discharge Parameters of NiMH Storage Cell for the Remote Laboratory

Vlastimil Kovařík

Studijní program: B 2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy

Pracoviště: Ústav řízení systému a spolehlivosti

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Technická Univerzita v Liberci

Studentská 2, 461 17, Liberec 1

Vedoucí práce: **Ing. Jiří Jelínek, Ph.D.**

Konzultant: **Ing. Petr Fuchs**

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval doc. Ing. Jiřímu Jelínkovi, PhD., za poskytnutí cenných rad a odborného vedení při zpracování této bakalářské práce a také Bc. Josefu Čížkovi, za pomoc při měření. Nakonec bych chtěl poděkovat mé rodině za trpělivost a podporu po celou dobu studia.



Abstrakt

Měření nabíjecích a vybíjecích charakteristik akumulátorů NiMH pro vzdálenou laboratoř

Cílem této bakalářské práce je návrh a realizace inteligentní nabíječky, aplikované na akumulátorech typu NiMH, pomocí automatu PLC Tecomat Foxtrot CP-1008. Nabíjení bude řízeno na základě stavu napětí baterie a její teploty. Kompletní sestavení úlohy bude možné sledovat IP kamerou a ovládat pomocí webového rozhraní, generovaného samotným automatem. Stav nabití jednotlivých článků bude též možno sledovat na předřadné zátěži - žárovce. Baterie bude možno nabíjet různými napětími a zatěžovat pomocí odporové dekády. Měřením pak získáme nabíjecí a vybíjecí charakteristiky článků.

Klíčová slova: PLC, akumulátor, IP kamera, automat, žárovka, odporové dekády, vybíjecí charakteristiky



Abstract

Measurement charge and discharge parameters of NiMH storage cell for the remote laboratory

The aim of this thesis is the design and implementation of an intelligent battery charger with PLC Foxtrot CP-1008, applied to NiMH rechargeable batteries. Charging is controlled by the state of the battery voltage and its temperature. This composition task will be monitored by IP camera and controlled by web interface, generated by the machine itself. The state of charge of each article, it would also be possible to monitor the load ballast - lamp. The battery can be recharged different voltages and strain with resistance decades. By the measurement we obtain the charging and discharging characteristics of individual cells.

Key words: PLC, accumulator, IP camera, automat, bulb, resistance decades, discharge characteristics



Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Abstract	6
Seznam obrázků.....	9
Seznam zkratek.....	10
Úvod	11
1 Akumulátory	12
1.1 Druhy akumulátorů	12
1.1.2 Oblasti využití akumulátorů	13
1.1.3 Princip akumulátorů	13
1.2 Jmenovité napětí	14
1.3 Dělení dle principu	15
2 Nikl-metal hydridový akumulátor	16
2.1 Nabíjení a vybíjení NiMH akumulátorů	16
2.2 Princip činnosti akumulátoru	17
2.2.1 Akumulátorový článek	18
2.2.2 Konstrukce NiMH akumulátorů	19
2.3 Nabíjecí metody vhodné pro NiMH	19
2.4 Samovybíjení	20
2.5 Výhody NiMH akumulátorů	20
2.6 Nevýhody NiMH akumulátorů	20
3 Programovatelný Automat Foxtrot	22
3.1 Výběr řídicí jednotky	22
3.2 Parametry Foxtrot CP 1008	23
3.3 Princip funkce PLC	24
3.4 Rozšiřující I/O moduly	25
3.4.1 Modul OS-1401	25
3.4.2 Modul IT-1604	26
3.5 Programování PLC	27
3.5.1 Programovací prostředí Mosaic	27
4 Sestavení obvodu	29
4.1 Hardware	29
4.1.1 Rešerše zapojení	29
4.1.2 Řízená zátěž Foxtrotem 1008	30
4.1.3 Ochranný obvod	31
4.1.4 Ochrana proti přehřátí	31
4.2 Měřicí obvody	33



4.3 Napájecí zdroje.....	34
4.4 Návrh uložení přípravku	35
5 Software	36
5.1 Program ve strukturovaném textu	36
5.1.1 Návrh webové stránky.....	37
5.2 IP kamera	38
5.2.1 Nastavení IP kamery	39
5.2.2 Volný přístup	39
5.2.3 Formát záznamu	40
6 Shrnutí vlastností vytvořené úlohy	41
Závěr.....	42



Seznam obrázků

Obrázek 1: Příklady akumulátorů	12
Obrázek 2: Přehled základních typů akumulátorů	13
Obrázek 3: Elektrolyt	14
Obrázek 4: Nabíjecí a vybíjecí charakteristika NiMH akumulátorů.....	17
Obrázek 5: Struktura NiMH akumulátoru [6].....	18
Obrázek 6: Závislost kapacity na době skladování při různých teplotách	20
Obrázek 7: Výběr PLC.....	22
Obrázek 8: Čelní pohled na základní modul CP-1008.....	23
Obrázek 9: Řešení uživatelského programu [10]	24
Obrázek 10: Rozšiřující modul OS-1401 [7]	25
Obrázek 11: Rozšiřující modul IT-1604 [8].....	26
Obrázek 12: Příklad strukturovaného textu.....	28
Obrázek 13: Blokové schéma zapojení	29
Obrázek 14: Realizace zapojení řízení zátěže Foxtrotem	30
Obrázek 15: Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky při různých teplotách	32
Obrázek 16: Realizace zapojení ochrany proti přehřátí akumulátoru	33
Obrázek 17: Zapojení k získání měření parametrů akumulátoru Foxtrotem.....	34
Obrázek 18: Realizace napájení elektrického obvodu	35
Obrázek 19: Přední panel s popisem uložení a distanční můstek	35
Obrázek 20: Návod k měření	38
Obrázek 21: Snímání IP kamerou	38
Obrázek 22: Nastavení sítě LAN	39
Obrázek 23: LoginFree – volný přístup	39
Obrázek 24: Nastavení formátu výstupu.....	40
Obrázek 25: Uživatelské prostředí pro ovládání.....	41
Obrázek 26: Zhotovení úlohy	41



Seznam zkratk

Zkratka	Význam
DHCP	Automatická konfigurace připojení PC v síti
DO	Digitální výstup
Ethernet	Standardní síťové rozhraní
GND	Zemnění
I/O	Vstupy / Výstupy
LED	Dioda emitující světlo
Li-ion	Lithium-Iontová baterie
Li-Pol	Lithium-Polymerová baterie
Ni1000	Niklové teplotní čidlo
NiCd	Nikl-Kadmiová baterie
NiMH	Nikl-Metal hydridová baterie
NTC	Termistor s negativním teplotním koeficientem
OV1000	Pasivní odporový senzor
OZ	Operační zesilovač
Pb	Olověný článek
PID	Proporcionálně integračně derivační regulátor
PLC	Programovatelný Logický Automat
Pt1000	Platinové teplotní čidlo
RJ-45	Typ koncovky síťového kabelu
RTU baterie	Ready To Use baterie
TCL2	Sběrnice pro připojení komponent
V DC	Stejnoseměrný zdroj napětí
Wh	Watt hodina



Úvod

Akumulátory jsou dnes nejpoužívanější formou zdroje energie v mnoha mobilních elektronických zařízeních, nebo jako záložní napájecí jednotky. Akumulátory jsou obvykle elektrické sekundární články, které je potřeba nejdříve nabít a teprve potom je možné je použít jako zdroj energie, na rozdíl od primárního článku, který dodává energii ihned po sestavení, ale zpravidla není možné jejich dobíjení.

Dle principu konstrukce je akumulátorů mnoho druhů, které jsou využívány v nejrozličnějších odvětvích. Ve své práci se však zaměřím především na chemický akumulátor NiMH, na kterém budou prováděna měření a měřeny zatěžovací charakteristiky. Mým úkolem bude navrhnout inteligentní nabíječku s těmito články. Pomocí této nabíječky pak obsluhuji umožnit, pomocí vzdáleného přístupu přes web, naměřit jejich nabíječích a vybíječích charakteristiky. Přitom ošetřit hardwarově i softwarově rizikové stavy, které by na bateriích mohly nastat.

Motivace

- V teoretické části shrnout, vysvětlit a zhodnotit základní typy a vlastnosti akumulátorů, sloužících jako zdroje elektrické energie.
- Seznámit se s programovatelným automatem PLC Foxtrot CP-1008 od firmy TECO, jeho vnitřní strukturou a programovacím prostředím Mosaic.
- V praktické části zkonstruovat zapojení, které umožní měřit požadované charakteristiky akumulátorů.

Cíle práce

- Seznámit se s funkcí, parametry a využitím akumulátorů.
- Navrhnout a realizovat inteligentní nabíječku pro měření charakteristik.
- Vytvořit úlohu se vzdáleným přístupem přes webové rozhraní a umožnit tak studentům práci z domova, či měření jiných úloh ve školních laboratořích.



1 Akumulátory

Jde o technické zařízení, sloužící k uchovávání a využívání elektrické energie, které je možné opakovat. Je to sekundární článek, který je potřeba nejdříve nabít a teprve potom je možné jej použít jako zdroj energie. Na rozdíl od sekundárních článků (akumulátorů), primární články dodávají energii ihned po svém sestavení a zpravidla není možné je dobíjet, například zinkouhlíkové baterie.

První akumulátory se začaly vyvíjet v osmdesátých letech minulého století, hlavním důvodem byly požadavky ekologů na náhradu škodlivého kadmia vhodnějším materiálem. První výrobky trpěly řadou nedostatků, hlavně velmi vysokým samovybíjením, zhoršováním funkceschopnosti během skladování a velice vysokou cenou. Velmi rychle však nastalo, a stále pokračuje, zlepšování užitečných vlastností a NiMH akumulátory se staly běžným výrobkem, především v mobilní technice.

1.1 Druhy akumulátorů

Jak je vidět na obrázku 1, na trhu je dnes dostupné široké spektrum akumulátorů, lišících se ve své vnitřní i vnější struktuře, využití, ale také ceně. Nejběžnější akumulátory jsou založeny na elektrochemickém principu. Tyto akumulátory využívají přeměnu elektrické energie na energii chemickou, kterou je možno zpětně transformovat na energii elektrickou.



Obrázek 1: Příklady akumulátorů

Princip funkce je založen na procházejícím proudu akumulátorem, který tak vyvolává vratné chemické změny, jež se projevují na elektrodách změnou elektrochemického potenciálu. Na úkor těchto změn lze z elektrod poté čerpat požadovanou elektrickou energii zpět. Protože jsou ale napětí na článcích



elektrochemických akumulátorů relativně malá (1,2–1,6 V), jsou pro dosažení vyššího výkonu obvykle sdružována do akumulátorových baterií.

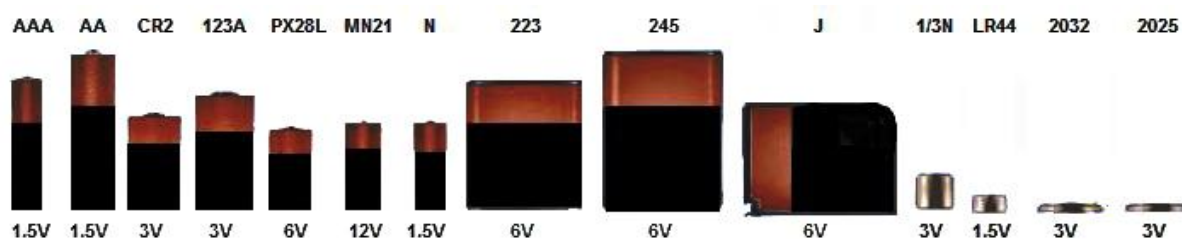
1.1.2 Oblasti využití akumulátorů

Pro správný výběr baterie je třeba co nejlépe znát aplikaci, pro kterou má být baterie použita. Pokud chceme vybírat baterie podle typu zařízení, ve kterém má baterie sloužit, musíme přesně vědět alespoň napětí, kapacitu a rozměry baterie.

NiMH akumulátory se dnes hojně využívají v nejrůznějších odvětvích, své uplatnění našly především jako náhrada NiCd akumulátorů, od standardních průmyslových aplikací, vojenské aplikace, pro vysoké odběrové proudy, rychlonabíjení, vysoké teploty, Memory Back-Up až po jednoduché domácí užití, jako jsou nástěnné hodiny, telefon, rádio atd. Hlavní předností je podle mne jejich kompaktnost, relativně dlouhá životnost, počet nabíjecích cyklů a využití v místech se špatnými podmínkami pro přímé napájení.

1.1.3 Princip akumulátorů

Na akumulátor by se dalo pohlížet jako na prvek složený ze dvou částí. Vnější pouzdro a vnitřní elektrolyt. Vnější konstrukce, viz obrázek 2, může běžnému spotřebiteli opticky napovědět, jaké jsou parametry baterie. Ať už jde o standardní válcové "tužkové" baterie typu AA, jejichž předpokládané napětí se pohybuje okolo 1,2–1,5 V, nebo "knoflíkové", dříve nazývané "mincové" baterie, jejichž napětí je okolo 1,5–3 V.



Obrázek 2: Přehled základních typů akumulátorů

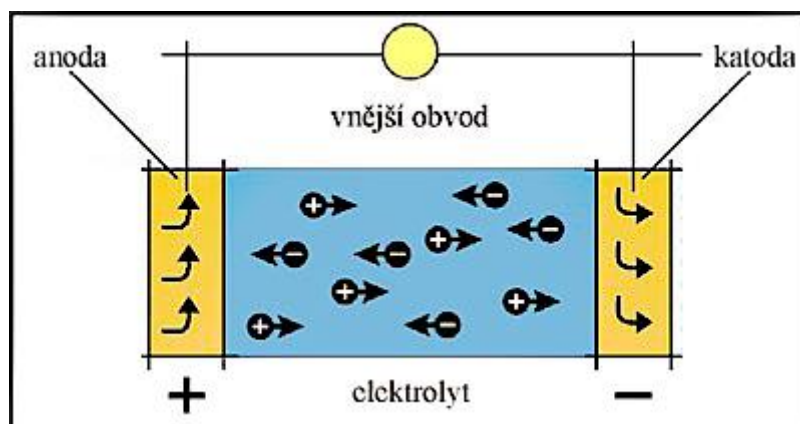
Podle provedení se dělí na otevřené a uzavřené (také hermetické či plynotěsné). Otevřené, užívané v oblasti startovacích a trakčních akumulátorů, jsou známy také jako „standardní akumulátory“ nebo „běžné akumulátory“. Lze je snadno rozpoznat podle



šroubovacích krytek na plášti. U těchto akumulátorů lze provádět údržbu (destilovanou vodu je možné doplňovat) a lze je nabíjet pomocí každého nabíjecího přístroje.

Uzavřené akumulátory jsou označovány také výrazem „bezúdržbové akumulátory“, jedná se o převážnou většinu galvanických článků. Oproti akumulátorům otevřeným nelze tyto akumulátory otevírat. Jsou uzavřené a nelze je doplňovat. Tento druh akumulátorů vyžaduje regulované nabíjecí přístroje.

Rozhodujícím faktorem na funkci baterie je však vnitřní složení elektrolytu, který může být kyselý, zásaditý nebo bezvodý. Elektrolyt je roztok nebo tavenina, která vede elektrický proud, jak je znázorněno na obrázku 3. Obvykle vznikají rozpouštěním iontových sloučenin v polárních rozpouštědlech. To jsou taková rozpouštědla, která jsou tvořena polárními molekulami. Zpravidla jsou mísena dvě libovolná rozpouštědla, protože některé látky jsou rozpustné pouze v jedné složce. Příkladem takovýchto rozpouštědel je methanol, ethanol, glycerol, všechny anorganické kyseliny, ale také voda.



Obrázek 3: Elektrolyt

Nevýhodou elektrolytu je jeho menší vodivost oproti kovům, neboť proud je přenášen ionty a ne elektrony. Ionty jsou větší, tudíž jejich pohyblivost je menší. Elektrolyty se také dělí na silné a slabé. Silné obsahují ionty, slabé obsahují navíc nedisociované molekuly, tzn. že nedošlo k úplnému rozpadu iontové vazby.

1.2 Jmenovité napětí

Pojem definovaný státními normami ČSN EN 60285+A1 a ČSN EN 61436. Je to zaokrouhlená střední hodnota vybíjecího napětí článku. Jmenovité napětí jednotlivého NiCd nebo NiMH akumulátorového článku je 1,2 V.[11]



1.3 Dělení dle principu

Akumulátorů je mnoho typů a dělí se nejen podle velikosti, své kapacity a ceny, ale také podle vnitřní struktury. Každý akumulátor má své elektrody, mezi kterými protéká proud o určité velikosti, a tak dochází v elektrolytu k vratným chemickým reakcím. Mezi základní typy se řadí baterie Alkalické, NiMH, NiCd, Li-ion, Li-Pol a Pb články. V tabulce 1 jsem porovnal základní parametry těchto zmiňovaných článků.

Tabulka 1: Porovnání základních baterií a akumulátorů

Porovnání baterií a akumulátorů						
Parametr	Alkalické baterie	Akumulátory NiMH	Akumulátory NiCd	Akumulátory Li-ion	Akumulátory Li-Pol	Olověný článek Pb
Napětí [V]	1,5 V	1,2 V	1,2 V	3 V	3,5 V	12 V
Kapacita	až 2400 mAh	1500-2700 mAh	500-900 mAh	1300 mAh	3200 mAh	až 10 000 Ah
Počet nabíjecích cyklů	1	500 - 1000	2000	500 - 2000	500 - 2000	500 - 2000
Zachování kapacity*	7 let	1 měsíc	2 měsíce	samovybíjení do 5%	samovybíjení do 5%	3-20% / měsíc
Paměťový efekt	NE	minimální	ANO	NE	NE	NE
Okamžitě použitelné	ANO	NE	NE	ANO	ANO	ANO
Obsah těžkých kovů	bez obsahu	Nikl a Kobalt	Kadmium	bez obsahu	bez obsahu	bez obsahu
Pracovní teplota [°C]	-5—40	-10—50	-10—50	-20—50	-20—150	-40—65



2 Nikl-metal hydridový akumulátor

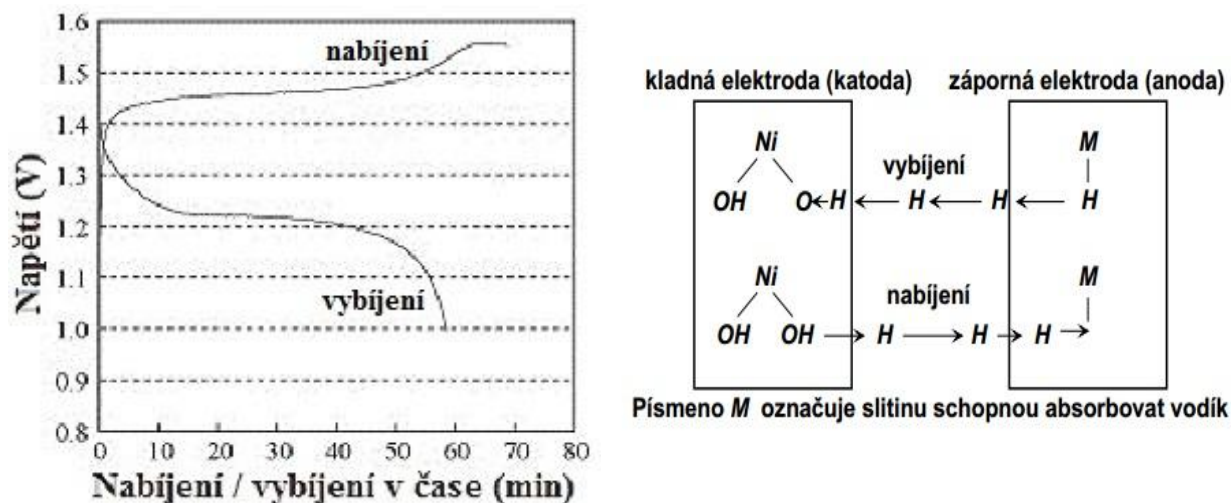
NiMH akumulátory vznikly jako náhrada NiCd akumulátorů. Byly vyvíjeny na základě požadavku na vyšší kapacitu při stejném objemu. Důraz se také kladl na snížení zátěže životního prostředí, neboť kadmium je těžký toxický kovový prvek a tím hůře recyklovatelný. Svého nejvyššího uplatnění dostaly NiMH akumulátory s rozvojem mobilní komunikace - mobilní telefony a přenosné počítače. Díky směsi kovů niklu a kobaltu mají také tyto akumulátory až o cca 40 % vyšší kapacitu (hustotu energie) při stejné velikosti. Jejich nevýhodou je užití v mezních klimatických podmínkách. Minimální teplota je obecně uváděna do $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, však již při $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dochází k blokacím. Maximální teplota je poté uváděna cca $40\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Též možnost vysokých vybíjecích proudů je u tohoto typu akumulátorů omezena na zhruba dvoj- až trojnásobek kapacity.

Výhodou by však mohla být možnost jejich skladování v nabitém i vybitém stavu. Aby však nedošlo k nevratnému znehodnocení elektrod a ztrátě kapacity, měly by být v průběhu jednoho roku minimálně $3\times$ opakovaně nabity a vybity. Tím se zachovávají původní parametry a životnost akumulátoru.

2.1 Nabíjení a vybíjení NiMH akumulátorů

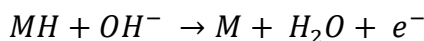
Aktivním materiálem záporné elektrody jsou slitiny kovů (TiFe, ZnMn_2 , LaNi_5 , apod.), které jsou při nabíjení článku schopny vytvářet hybridy, tedy vázat na sebe vodík. Vodík, vznikající při nabíjení, se váže na kov a tím v článku vznikne malý přetlak plynu. Měrná kapacita NiMH článku v těsném válcovém pouzdru je až 300 Wh/dm^3 a 100 Wh/kg .

Životnost akumulátorů dosahuje okolo 500 cyklů při provozování ve vhodných podmínkách. Ale vhodné podmínky nebývají pro nás v praxi většinou dosažitelné. Teplota je důležitým faktorem i při nabíjení, jelikož ovlivňuje množství energie, kterou je článek schopen pojmout. Na obrázku 4 je vidět nabíjecí a vybíjecí charakteristiky. Ideální nabíjecí teplota by se měla pohybovat v rozsahu $10\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při okolní teplotě okolo nuly nedochází v článku k chemickým reakcím pohlcujícím volné plyny a může dojít k destruktivní fázi. Taktéž nabíjení nad $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ je již velmi neefektivní, článek již není schopen akumulovat elektrickou energii.

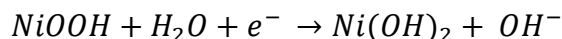


Obrázek 4: Nabíjecí a vybíjecí charakteristika NiMH akumulátorů

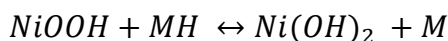
Na anodě tedy při vybíjení probíhá (za účasti disociovaných molekul vody) reakce



a na katodě



při nabíjení je tomu opačně. Souhrnnou reakci lze tedy zapsat ve tvaru



přičemž horní šipka platí pro vybíjení a naopak.

2.2 Princip činnosti akumulátoru

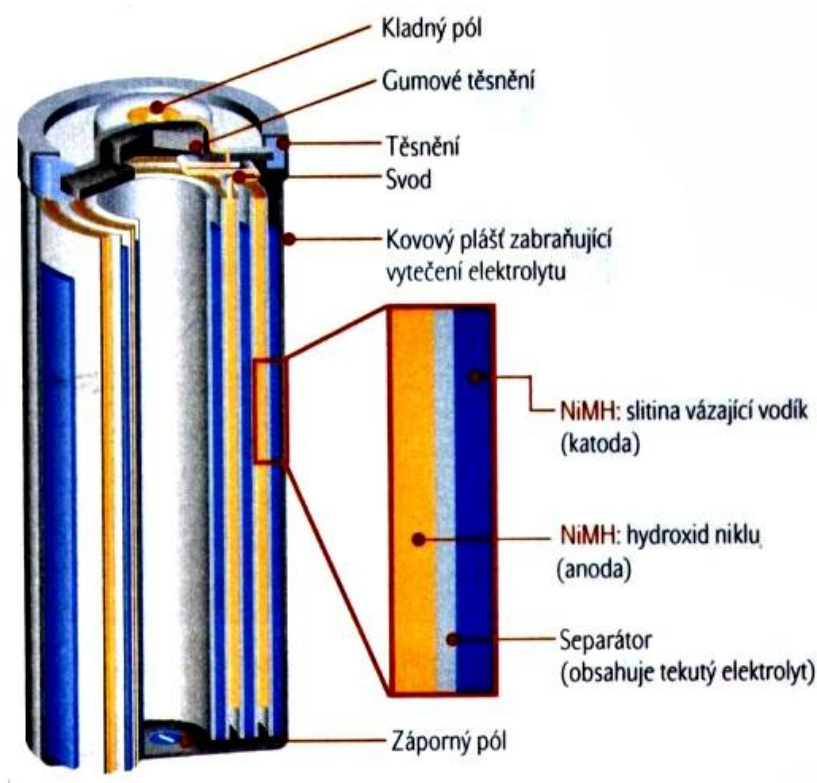
Každý akumulátor, ať je jakéhokoliv typu, pracuje na chemickém základě. Nabíjíme-li akumulátorový článek, dochází v něm k chemické přeměně. Například olověný akumulátor ve vozidle je tvořen dvěma typy. Elektrody v lázni kyseliny sírové - negativní elektrody z čistého olova a elektrody pozitivní z oxidu olovnatého. Při chemické reakci elektrody oxidují a předávají elektrolytem (elektricky vodivou látkou, zde kyselinou sírovou) elektrony na pozitivní elektrody. Přitom se kyselina spotřebovává a tvoří se voda.



Chemický proces je vratný, a zatímco dříve musela být doplňována destilovaná voda, dnešní olověné akumulátory většinou nepotřebují údržbu. Připojíme-li k němu po nabití elektrický přístroj, dojde k tomu, že akumulátor dodává energii zpět, čímž se chemicky vrací do původního stavu - akumulátor se vybíjí. Jako charakteristické veličiny akumulátoru se vedle napětí U , udávají kapacita Wh a hustota energie Wh/l . Životnost signalizuje, jak často se má akumulátor znovu nabíjet, tedy kolika nabíjecími / vybíjecími cykly tedy projde.

2.2.1 Akumulátorový článek

Je to základní, nejmenší jednotka akumulátoru. Skládá se vždy z jedné sady kladných anodových a záporných katodových elektrod. Sada je spojena v jednom článku paralelně pro zvláštní proudové hustoty. Článek obsahuje ještě části nutné k sestavení, tj. separátory, spojky, elektrolyt a článkovou nádobu viz obrázek 5.



Obrázek 5: Struktura NiMH akumulátoru [6]



2.2.2 Konstrukce NiMH akumulátorů

Kladná elektroda NiMH akumulátorů má stejnou konstrukci a stejné složení aktivní hmoty jako kladná elektroda NiCd akumulátorů. To znamená, že rovněž elektrochemické změny probíhající při nabíjení a vybíjení jsou shodné. Záporná elektroda obsahuje jako elektrochemicky aktivní látku kovovou slitinu, která je schopná během nabíjení a vybíjení vázat a uvolňovat vodík.

Akumulátor musí být zhotoven tak, aby po dosažení plného nabití kladné elektrody zůstala část aktivní hmoty záporné elektrody nenabitá. Kyslík vznikající při přebíjení na kladné elektrodě prochází porézním separátorem na zápornou elektrodu, kde je redukován. Plynný kyslík je takto vázán. Současně je oxidována aktivní hmota záporné elektrody, která pak nemůže být plně nabitá a nedochází tak na ní k vývinu vodíku v průběhu přebíjení. Tento děj se nazývá rekombinace a umožňuje hermetizaci NiMH akumulátorů.

NiMH akumulátory našly uplatnění převážně tam, kde byly dříve používány NiCd akumulátory s velkou měrnou energií, nebo coby alternativa NiCd akumulátorů, které by se daly dobíjet spolu s nimi ve stejném nabíječi. Měly by vyšší kapacitu, ale neobsahovaly by kadmium.

2.3 Nabíjecí metody vhodné pro NiMH

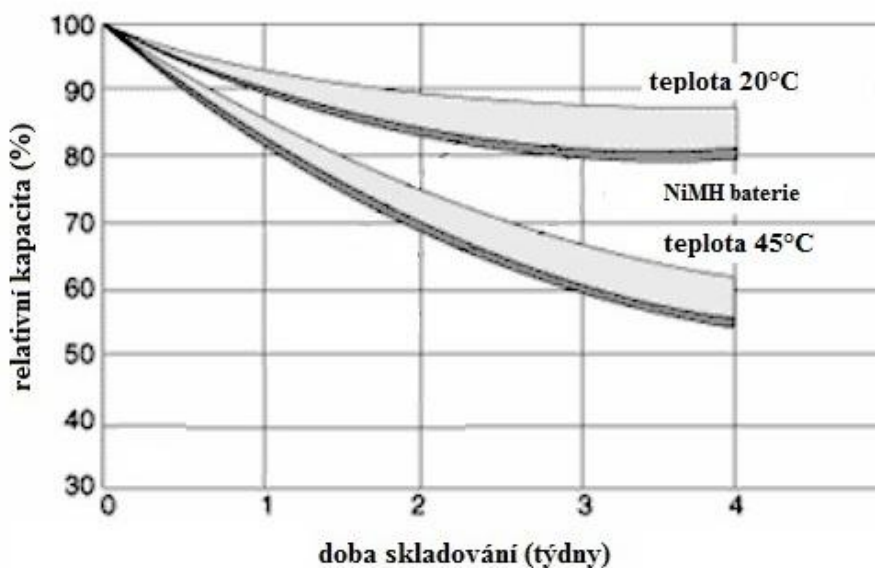
Nabíjení NiMH akumulátorů je poněkud odlišné od nabíjení NiCd akumulátorů. Hlavním rozdílem je průběh teploty při nabíjení. U NiCd akumulátorů teplota většinou v průběhu nabíjení zůstává konstantní nebo nepatrně roste a prudce stoupá až při přebíjení. U NiMH akumulátorů teplota článků od začátku nabíjení neustále stoupá a při přebíjení je tento vzrůst prudší. Dále platí, že čím větší nabíjecí proud, tím rychlejší nárůst teploty. Nárůst teploty od začátku nabíjení je druhým důvodem, proč by se neměly zaměňovat při výměnách nebo repasích baterií typy NiMH za NiCd.

Dalším specifikem je pokles napětí akumulátoru na konci nabíjení viz obrázek 4. I když je pokles menší než u NiCd akumulátorů, a to 5 mV, objevuje se tento pokles i při normálním nabíjení, tzn. proudem o velikosti desetiny kapacity, ale pouze při teplotách do +25 °C. Takže při tomto nabíjení lze použít i metodu „ $-\Delta V$ “. Toto je další důvod proč nezaměňovat NiCd akumulátory za NiMH. U NiCd akumulátorů je tento pokles jen u rychlého nebo zrychleného nabíjení. Při vyšších teplotách než +25 °C není pokles u NiMH vždy indikovatelný, takže ji nelze použít.[5]



2.4 Samovybíjení

Jednou z nepříjemných vlastností NiMH akumulátorů je samovybíjení. Dochází k němu z příčiny, že chemická náplň nabitého akumulátoru se snaží dostat do svého normálního, neboli vybitého stavu. Akumulátor se tak pomalu vybíjí a energie se tak přeměňuje na teplo. Rychlost samovybíjení se liší, je závislá na okolní teplotě při skladování a typu akumulátoru. Může dosahovat 10–30 % kapacity měsíčně, viz obrázek 6.



Obrázek 6: Závislost kapacity na době skladování při různých teplotách

2.5 Výhody NiMH akumulátorů

Ve srovnání s NiCd jsou hlavními přednostmi NiMH akumulátorů:

- větší kapacita získaná z článku shodných rozměrů,
- menší zátěž pro životní prostředí (na rozdíl od NiCd akumulátorů, ty NiMH neobsahují kadmium), absence tzv. paměťového efektu.

V porovnání s lithiovými akumulátory mají metalhydridové tyto výhody:

- malý vnitřní odpor (který může být až 10× nižší),
- v některých případech možnost použití společného nabíječe s NiCd akumulátory.

2.6 Nevýhody NiMH akumulátorů

- Menší rozsah klimatických a mechanických odolností.



- Větší samovybíjení (lehce větší než u NiCd akumulátorů a výrazně větší než u akumulátorů Li-Ion), avšak jsou již speciální výrobní řady NiMH akumulátorů s malým samovybíjením, označované jako RTU baterie.
- Větší vnitřní impedanci – základní typy nejsou vhodné pro velmi rychlé nabíjení a extrémně velké vybíjecí proudy, opět však existují speciální výrobní řady například pro akumulátorové nářadí.
- Vyšší cena ve srovnání s NiCd, ale tato nevýhoda se pomalu smazává.




3 Programovatelný Automat Foxtrot

Programovatelný automat (dále jen PLC - Programmable Logic Controller) je číslicový řídicí elektronický systém určený pro řízení pracovních strojů a procesů v průmyslovém prostředí. PLC prostřednictvím číslicových nebo analogových vstupů a výstupů získává a předává informace z a do řízeného zařízení. Algoritmy řízení jsou uloženy v paměti uživatelského programu, který je cyklicky vykonáván.

3.1 Výběr řídicí jednotky

Firma TECO na trhu poskytuje svým zákazníkům rozsáhlý sortiment, a proto bylo nejprve důležité vybrat správnou řídicí jednotku, splňující naše požadavky. Firma TECO nabízí nejrůznější řady senzorů a aktorů, operátorské panely, moduly a submoduly, ale také velké řídicí a regulační systémy typu TC700. Mně se však jevil jako nejzajímavější Foxtrot z obrázku 7.

Výběr řady PLC



Centrála	Stručný popis jednotky	Objednací číslo
CP-1000	řada K, 192kB+64kB RAM, SCH, ETH, webserver, vnitřní periferie 4x DI/AI, 2x DO, 2x AO	TXN 110 00
CP-1003	řada L, 384kB+192kB RAM, SCH, ETH, webserver, vnitřní periferie 8x DI/AI, 8x DI, 12x DO, 4x AO, 4x PWM, HSC/IRC	TXN 110 03
CP-1004	řada K, 192kB+64kB RAM, SCH, ETH, webserver, vnitřní periferie 8x DI, 6x DO, 4x AI, IRC, CNTR	TXN 110 04
CP-1005	řada K, 192kB+64kB RAM, SCH, ETH, webserver, vnitřní periferie 6x DI/AI, 2x AO, 6x DO	TXN 110 05
CP-1006	řada K, 192kB+64kB RAM, SCH, ETH, webserver, vnitřní periferie 13x DI/AI, 2x DI, 12x DO, 2x AO, CNTR	TXN 110 06
CP-1008	řada K, 192kB+64kB RAM, SCH, ETH, webserver, vnitřní periferie 10x DI/AI, 1x DI, 2x AI, 1x TI, 11x DO, 4x AO	TXN 110 08
CP-1014	řada K, 192kB+64kB RAM, SCH, ETH, webserver, vnitřní periferie 8x DI, 6x DO, 4x AI, IRC, CNTR, displej 4x20, 6 tlačítek	TXN 110 14
CP-1015	řada K, 192kB+64kB RAM, SCH, ETH, webserver, vnitřní periferie 6x DI/AI, 2x AO, 6x DO, displej 4x20, 6 tlačítek	TXN 110 15
CP-1016	řada K, 192kB+64kB RAM, SCH, ETH, webserver, vnitřní periferie 13x DI/AI, 2x DI, 12x DO, 2x AO, CNTR, displej 4x20, 6 tlačítek	TXN 110 16
CP-1018	řada K, 192kB+64kB RAM, SCH, ETH, webserver, vnitřní periferie 10x DI/AI, 1x DI, 2x AI, 1x TI, 11x DO, 4x AO, displej 4x20, 6 tlačítek	TXN 110 18
CP-1020	řada K, 192kB+64kB RAM, SCH, ETH, webserver, vnitřní periferie 4x DI/AI, 2x DO, 2x AO, Interní RF master	TXN 110 20
CP-1026	řada K, 192kB+64kB RAM, SCH, ETH, webserver, vnitřní periferie 13x DI/AI, 2x DI, 12x DO, 2x AO, CNTR, Interní RF master	TXN 110 26
CP-1028	řada K, 192kB+64kB RAM, SCH, ETH, webserver, vnitřní periferie 10x DI/AI, 1x DI, 2x AI, 1x TI, 11x DO, 4x AO, Interní RF master	TXN 110 28
CP-1036	řada K, 192kB+64kB RAM, SCH, ETH, webserver, vnitřní periferie 13x DI/AI, 2x DI, 12x DO, 2x AO, CNTR, displej 4x20, 6 tlačítek, Interní RF master	TXN 110 36
CP-1038	řada K, 192kB+64kB RAM, SCH, ETH, webserver, vnitřní periferie 10x DI/AI, 1x DI, 2x AI, 1x TI, 11x DO, 4x AO, displej 4x20, 6 tlačítek, Interní RF master	TXN 110 38

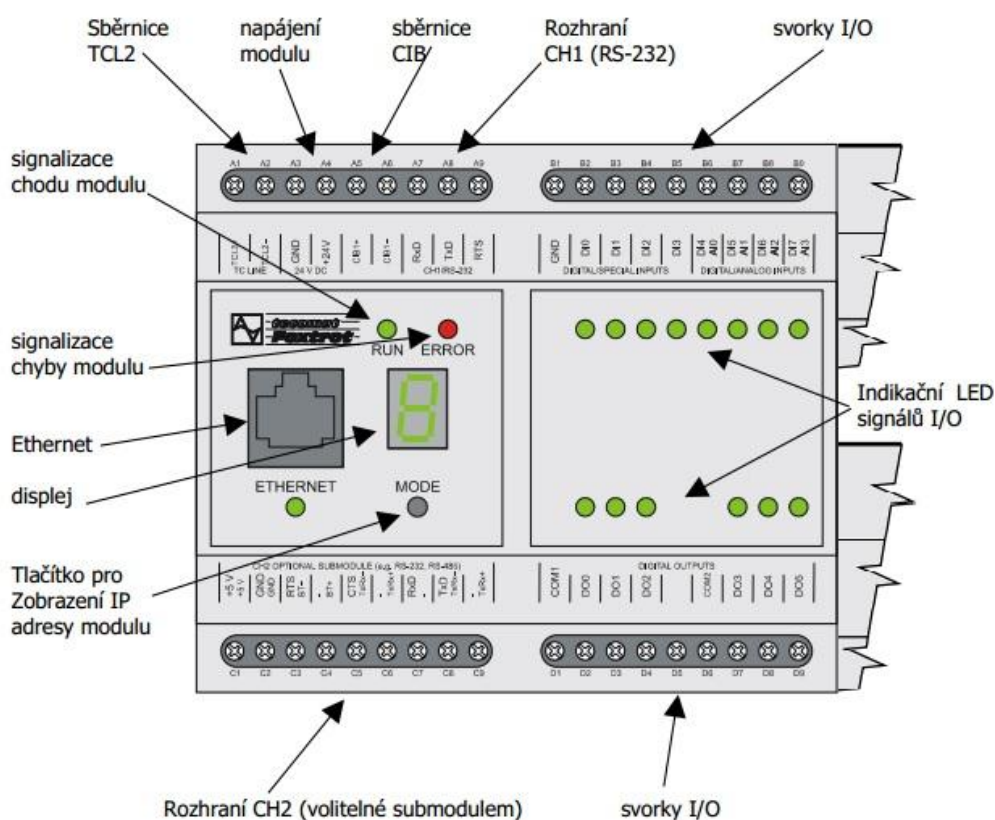
Obrázek 7: Výběr PLC

V této úloze jsou pro mne primární digitální vstupy nejen PLC, ale také vstupy rozšiřujících I/O modulů, neboť řídicí jednotka jich neposkytuje dostatečný počet. Těmito vstupy jsou poté řízeny nabíjecí a vybíjecí proudy, díky kterým jsou nastavovány logické úrovně na digitálních vstupech Foxtrotu. Těmi jsou řízena relé, skrze která dochází k postupnému připojování či odpojování zátěže, respektive 5, 10 a 15 W žárovek.



3.2 Parametry Foxtrot CP 1008

Jak je vidět na obrázku 8, tato jednotka je vybavena sedmissegmentovým displejem. Disponuje výkonnou centrální jednotkou s integrovanými, převážně univerzálními vstupy a s analogovými, reléovými a SSE výstupy. Každý z deseti univerzálních vstupů lze alternativně využít jako analogový nebo binární vstup. Čtyři z těchto deseti univerzálních vstupů lze použít jako proudové vstupy až do 20 mA, rozsah se volí propojkou. Ostatní vstupy se mohou nastavit na jeden z rozsahů Ni1000, Pt1000, OV1000. Rozsah měření se nastavuje v uživatelské konfiguraci.



Obrázek 8: Čelní pohled na základní modul CP-1008

Dva čistě analogové vstupy lze použít pro připojení termočlánků, eventuálně pro měření napětí v rozsahu 0–2 V. Dále obsahuje šest standardních, tři reléové výstupy a jeden nadstandardní 10ampérový výstup. Jednotka má vestavěné hodiny a kalendář. Programování a komunikace probíhá prostřednictvím LAN, Wi-Fi, nebo Ethernet. Je zde možnost nastavitelné IP adresy, nebo přímé přiřazení od DHCP serveru. Vestavěný web server umožňuje volnou tvorbu uživatelských web stránek na paměťové kartě (XML

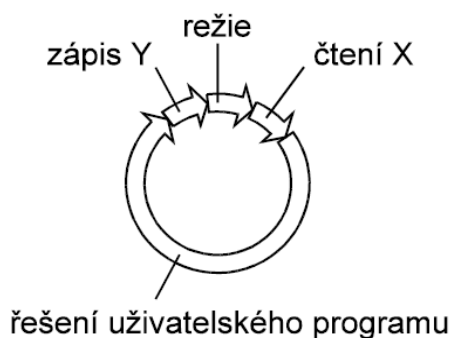


technologie), nebo vytvořit webovou stránku libovolného připojeného řízeného objektu. Lze ji také využít jako nezávislý programovatelný datalogger pro libovolné měřené nebo vnitřní veličiny s časovou značkou, avšak tato metoda se mi příliš neosvědčila. Díky svým rozměrům jsou vhodné do rozvaděčů, nebo k montáži na DIN lištu [7].

3.3 Princip funkce PLC

PLC, jinak také programovatelný číslicový systém, je určený pro řízení převážně průmyslových aplikací. Tyto jednotky, které dnes slouží k řízení různých linek, inteligentních domů, řešení nejrůznějších matematických operací, byly původně navrženy pouze k nahrazení reléové logiky.

Řídicí algoritmus programovatelného automatu je zapsán jako posloupnost instrukcí v paměti uživatelského programu. PLC si z paměti programu načítá instrukce, podle nichž pak vykonává řídicí algoritmus. Provádí příslušné operace s daty v zápisníkové paměti a zásobníku, případně provádí přechody v posloupnosti instrukcí, je-li instrukce ze skupiny organizačních instrukcí. Jsou-li provedeny všechny instrukce požadovaného algoritmu, provádí centrální jednotka aktualizaci výstupních proměnných do výstupních periferních modulů a aktualizuje stavy ze vstupních periferních modulů do zápisníkové paměti. Tento děj se stále opakuje a nazýváme jej cyklem programu a je graficky znázorněn na obrázku 9. [10]



Obrázek 9: Řešení uživatelského programu [10]

Cyklus řešení uživatelského programu:

čtení X - přepis hodnot ze vstupních modulů PLC do oblasti X v zápisníkové paměti

zápis Y - přepis hodnot vypočtených programem z oblasti Y do výstupních modulů PLC

řezie - příprava centrální jednotky PLC k řešení dalšího cyklu programu



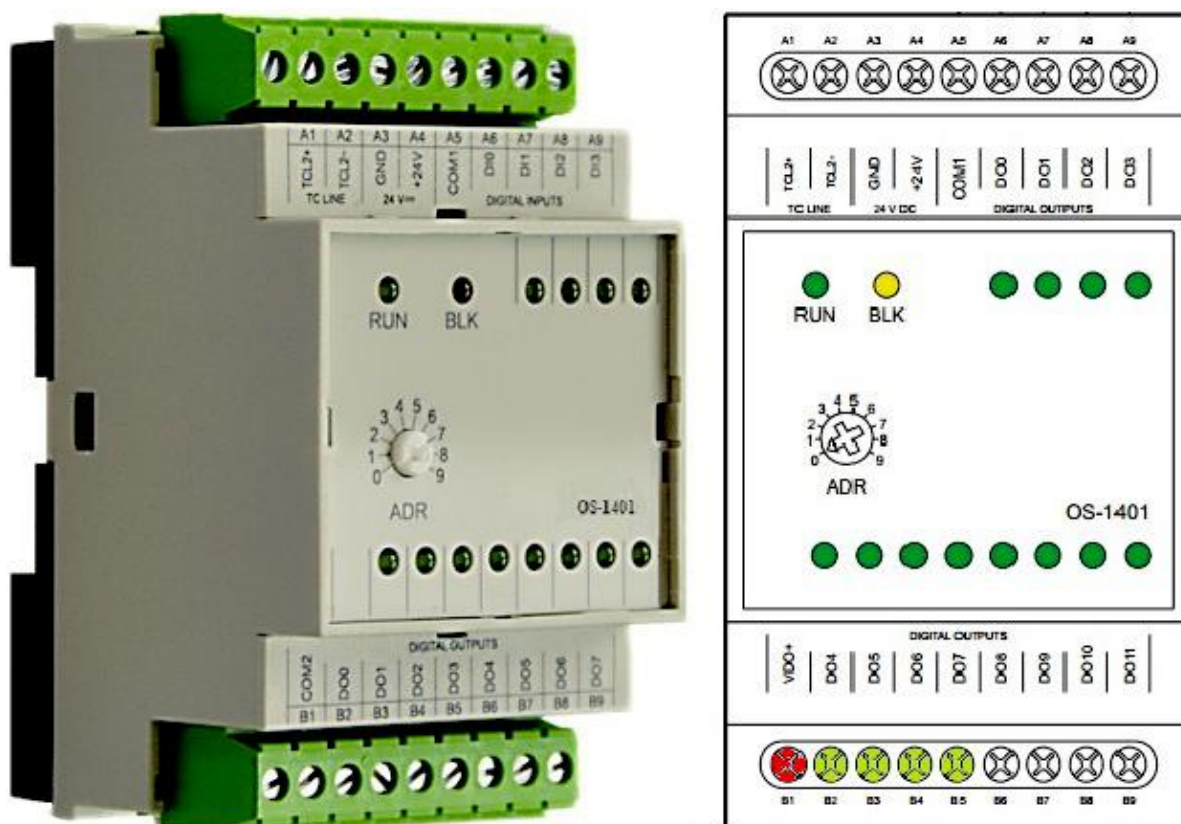
Díky jednorázové aktualizaci stavů vstupních proměnných během celého cyklu programu zabraňuje možnosti vzniku hazardních stavů při řešení algoritmu řízení, tudíž během výpočtu nemůže dojít ke změně vstupních proměnných.

3.4 Rozšiřující I/O moduly

3.4.1 Modul OS-1401

Tento modul na obrázku 10 slouží jako rozšíření počtu I/O základních modulů PLC Foxtrot a spínání zátěží s napětím 24 V DC polovodičovými výstupy. Stav výstupů je indikován na čelním panelu [7].

Modul je nastaven do režimu, kdy jsou zapnuty pouze binární výstupy DO0 až DO7. Červeně značený výstup VDO+ na obrázku 10 slouží k ovládání relé. Zeleně značené výstupy DO4 až DO7 slouží k řízení a požadovanému přepínání zátěže.



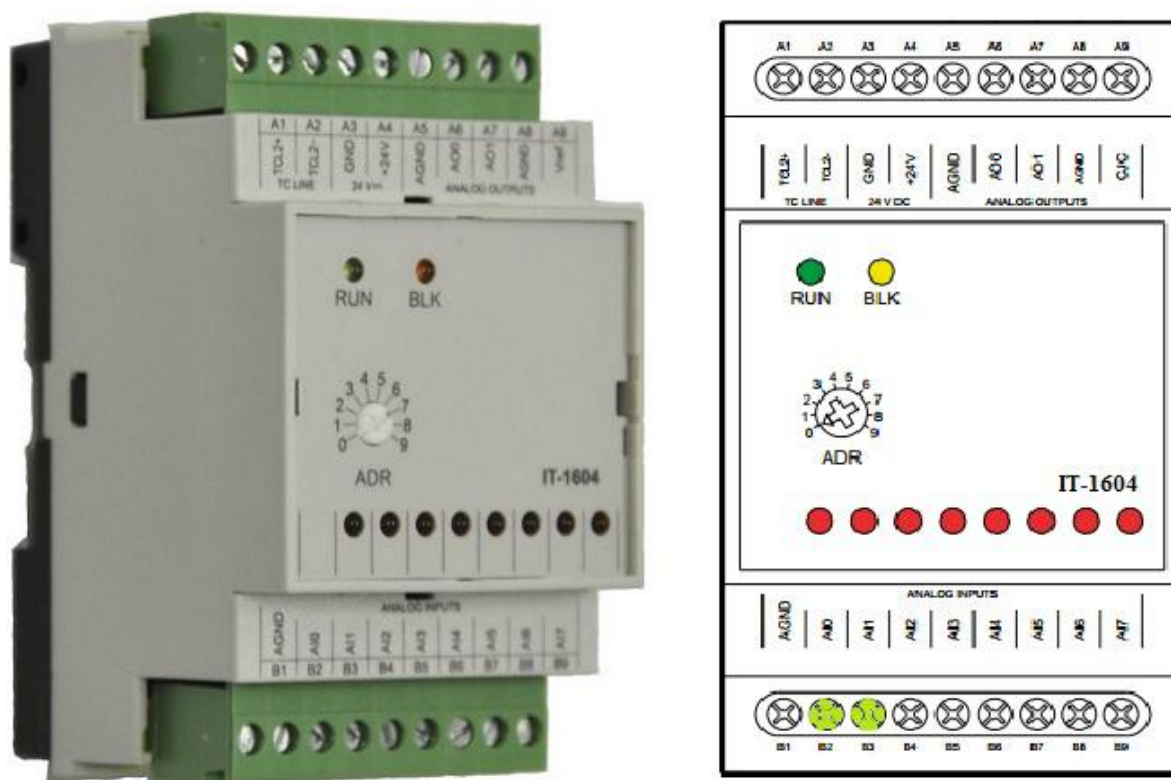
Obrázek 10: Rozšiřující modul OS-1401 [7]



3.4.2 Modul IT-1604

Tento modul na obrázku 11 je určen pro přesné měření analogových signálů standardních čidel s napěťovými a proudovými výstupy a pro přímé měření odporových čidel a termočlánků. Disponuje kombinací analogových, galvanicky oddělených vstupů a výstupů. Modul je určen pro 16bitové měření proudů, napětí a odporů/odporových snímačů teploty. Má vestavěný zdroj referenčního napětí. Výhodou je, že vstupy jsou nezávisle konfigurovatelné. Typ a rozsah měření je nastavován v Mosaicu. Výstupní hodnota je předávána v binární podobě, v procentech nebo přímo v jednotkách teploty. Přetížení, odlehčení nebo rozpojení je na vstupu indikováno na čelním panelu [8].

Protože je měření prováděno na třech sériově řazených bateriích, přičemž napětí každého z nich je 1,2 V, takže výsledné napětí je 3,6 V, využívám dvou analogových vstupů, které jsou na schématu zvýrazněny zelenou barvou. Jsou nastaveny na měřicí rozsah $0 \div 5$ V a je tak zajištěna větší přesnost AD převodníku.



Obrázek 11: Rozšiřující modul IT-1604 [8]



3.5 Programování PLC

Programování řídicích algoritmů a testování správnosti napsaných programů pro PLC FOXTROT se provádí na PC. Pro spojení s PLC se využívá buď běžný sériový kanál těchto počítačů, nebo rozhraní Ethernet. V mém případě pracuji s rozhraním Ethernet, tedy propojení pomocí síťového kabelu, zakončeného konektory RJ-45.

3.5.1 Programovací prostředí Mosaic

Pro programování řídicí jednotky slouží program Mosaic, dodávaný a vyvíjený samotnou firmou TECO. Ve své práci pracuji ve verzi Mosaic LITE Verze 2013.1 - SP2. Jedná se o komplexní vývojový nástroj pro programování aplikací PLC TECOMAT a regulátorů TECOREG, který umožňuje pohodlnou tvorbu a odladění programu, který využívá řadu moderních technologií. Jeho nepatrnou slabinou je neúplná kompatibilita se systémem Windows 7.

Prostředí obsahuje textový editor, překladač mnemokódu xPRO, debugger, modul pro komunikaci s PLC, simulátor PLC, konfigurační modul PLC a systém nápovědy. Dále prostředí obsahuje nástroj pro návrh obrazovek operátorských panelů (PanelMaker), nástroj pro práci s PID regulátory (PIDMaker), grafickou on-line analýzu sledovaných proměnných či off-line analýzu archivovaných dat (GraphMaker). Prostředí obsahuje podporu programování podle normy IEC 61131-3 v instrukcích (IL), v jazyce reléových schémát (LD), nebo pomocí funkčních bloků (FBD) a ve strukturovaném textu (ST), který používám já, jeho příklad je na obrázku 12. [8].

Stručný popis programovacích forem:

- **IL (Instruction List)** – Tato metoda patří mezi nejefektivnější formu kódu. Strojově orientovaný programovací jazyk, blížíci se svou strukturou assembleru dokáže nejlépe využít možnosti PLC.
- **LD (Ladder Diagram)** – Grafické prostředí, které je díky své názornosti dobrým prostředkem k programování pro uživatele bez předchozí znalosti programování. Jeho nevýhoda však spočívá v nepřehlednosti, pokud má program obsahovat různé aritmetické operace a skoky.



- **FBD (Function Block Diagram)** – Grafické vyjádření operací pomocí bloků. Každý blok je označen symbolem příslušného typu, díky němuž je zřejmé, jakou funkci realizuje. Počet výstupů nám poté udává velikost bloku.
- **ST (Structured Text)** – Používá se pro programy ve strukturovaném textu, který je obdobou vyšších programovacích jazyků Pascal, C. Umožňuje vytvářet složité analytické operace, rozsáhlé algoritmy, snadnou tvorbu cyklů a větvení programu. Přednost využití této metody je v jeho přehlednosti a rychlosti tvorby programu, je však méně efektivní než kód v IL.

```

if start then

    if restart then
        maxx:=0.;
        maxy:=0.;
        cyklus:=0;
        odebrat:=true;
        for j := 0 to POCETVZORKU-1 do
            napeti[j] := 0.0;
        end_for;

        for j := 0 to POCETVZORKU-1 do
            proud[j] := 0.0;
        end_for;
        restart:=false;
    end_if;

    if odebrat then
        odebrat := false;
        proud[cyklus] := (r1_p0_AI0.ENG*10.0)-23.72;
        napeti[cyklus] := r1_p0_AI1.ENG;
        cyklus := cyklus +1;
    end_if;

    for j := 0 to POCETVZORKU-2 do //teplota
        teplota[(POCETVZORKU-1)-j]:= teplota[(POCETVZORKU-2)-j];
    end_for;
    teplota[0]:= r0_p3_AI4.ENG; //konec teplota

    if mvalue then
        if proud[cyklus-1]*((100.0 - hodvalue)/100.0) > docasna1 or
           proud[cyklus-1]*((100.0 + hodvalue)/100.0) < docasna1
        then // (r1_p0_AI0.ENG*10.0)-23.72;
            odebrat :=true;
        end_if;
    end_if;

    if cyklus > pocetvz then
        cyklus := 0;
        start := false;
        restart := true;
    end_if;
end_if;

```

Obrázek 12: Příklad strukturovaného textu



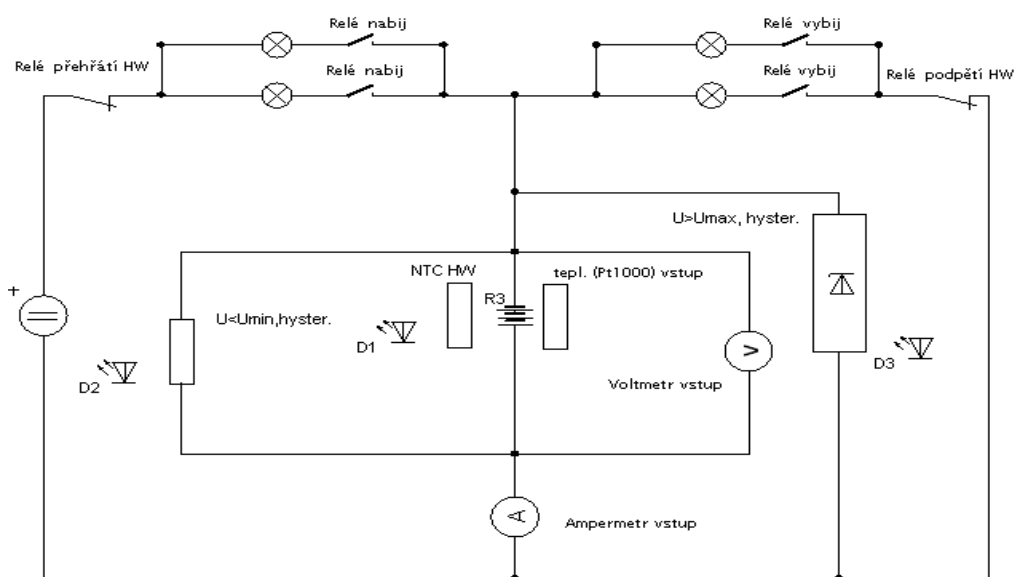
4 Sestavení obvodu

4.1 Hardware

Obvod se skládá z několika prvků. Mezi ně patří napájecí modul DR-100-15, který slouží jako zdroj stejnosměrného napětí 24 V pro řídicí jednotku Tecomat Foxtrot CP-1008. Tato jednotka je sériově rozšířena o další dva submoduly IT-1604 a OS-1401, ty rozšiřují počet digitálních vstupů a výstupů. Výstupy těchto jednotek slouží jako V-metr, A-metr a teploměr, které měří aktuální hodnoty na NiMH baterii. Ta je napájena samostatnou větví, která obsahuje síťový adaptér, transformující napětí na 9 V a 1,5 A. Pro indikaci nabíjení je mezi baterií a adaptérem zapojena dekáda žárovička. Další dekáda, která je napájena baterií, slouží k vybíjení baterie a optické kontrole stavu nabití. Jako prevence proti přehřátí je použit ochranný obvod viz kapitola 4.1.3.

4.1.1 Rešerše zapojení

Zapojení pomocí blokového schématu, zobrazené na obrázku 13, je složeno z řízené nabíjecí a vybíjecí zátěže, řízené pomocí digitálních vstupů externího modulu OS-1401 spojeného s hlavním řídicím modulem CP-1008. Požadované hodnoty jsou naměřeny pomocí analogových vstupů externího modulu IT-1604, též spojeného s CP-1008. Samotná jednotka CP-1008 díky svým schopnostem poté zastupuje činnost teploměru, ampérmetru a voltmetru.



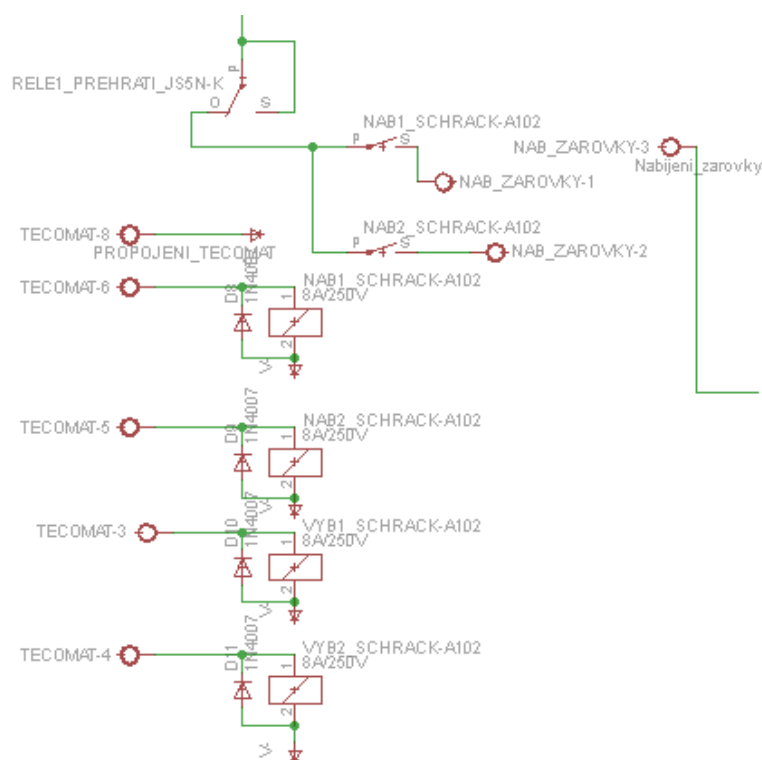
Obrázek 13: Blokové schéma zapojení



Dále je zde implementován ochranný obvod proti přehřátí pomocí NTC termistoru. Stav přehřátí je indikován kontrolní LED diodou v případě, že teplota překročí 40 °C.

4.1.2 Řízená zátěž Foxtrotem 1008

Prostřednictvím Foxtrot 1008 a jeho externího modulu OS-1401 jsou řízeny nabíjecí a vybíjecí proudy a to tak, že pomocí nastavování logických úrovní na digitálních vstupech OS-1401 jsou řízena relé, která nám postupně propojují či odpojují zátěže v našem případě 5 W žárovky, v zapojení na 5, 10 a 15 W, v závislosti na požadovaném nabíjecím či vybíjecím proudu, ten si obsluha volí v ovládacím prostředí na webu. Principiální schéma je na obrázku 14.



Obrázek 14: Realizace zapojení řízení zátěže Foxtrotem

Jako referenční napětí jsem zvolil 24 V na OS-1401 a tedy, že při logické nule je rovno napětí 0 V a při logické jedničce je rovno 24 V. Dále jsou všechny digitální výstupy propojené s jednou zemí. Řízení spočívá ve spouštění digitálních výstupů pomocí programu nahraného v samotném Foxtrotu a lze rozsvítit jednu, dvě a nebo tři žárovky najednou u obou režimů. U úrovně 24 V při logické jedničce jsem použil relé, které se



spouští při napětí 24 V, přesněji relé SCHRACK-A102. Jehož parametry jsou 250 V / 8 A, což dostačuje mým potřebám, protože přes relé nebude procházet proud větší než 1500 mA s napětím 9 V. K relé je zapojena antiparalelně dioda viz obrázek 14, z důvodu toho, že když dojde k odpojení relé, na cívce relé se naindukuje záporné napětí, které by mohlo způsobit poškození digitálního výstupu.

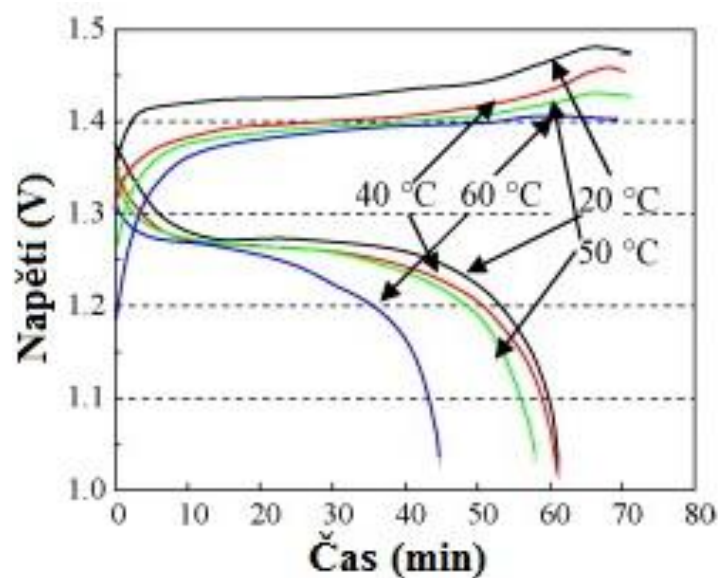
4.1.3 Ochranný obvod

Při měření charakteristik je důležité, aby nedošlo k poškození akumulátoru ba přímo k výbuchu. Proto je nutné hlídat teplotu akumulátoru. Ochranný obvod je opatřen signalizací prostřednictvím LED, kterou je posléze vidět na záběru z IP kamery.

Při měření nabíjecí charakteristiky je nutné hlídat teplotu měřeného akumulátoru, aby nedošlo k přehřátí a tím znehodnocení článku. To je vyřešeno pomocí zapojení TNC termistoru s hysterezí.

4.1.4 Ochrana proti přehřátí

Jak jsem již zmiňoval, při nabíjení dochází k ohřevu akumulátoru. Aby nedocházelo k nedovolenému přehřátí akumulátoru a tím k jeho poškození, což je v našem případě teplota 40 °C, dojde při této teplotě k rozpojení nabíjecího obvodu pomocí relé dříve, než by mohlo dojít k poškození akumulátoru, jak je vidět na obrázku 4. Toto je ošetřeno i v programu, aby při překročení teploty došlo k okamžitému ukončení nabíjení akumulátoru. Na obrázku 15 jsou vidět nabíjecí a vybíjecí charakteristiky při různých teplotách.



Obrázek 15: Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky při různých teplotách

Hardwarové ošetření ochrany teploty spočívá v zapojení na obrázku 16. Který se skládá z napěťového komparátoru s hysterezí. Pomocí rezistoru R_6 , R_4 je zavedena kladná zpětná vazba a je tak v regulaci docílena hystereze. Funkce je taková, že při nárůstu teploty nad nastavenou mez dojde k překlopení a sepnutí výstupu. Tím je však automaticky přes rezistor R_4 posunuta nastavená teplota a k opětovnému vypnutí při poklesu teploty dojde až při mnohem nižší teplotě, v tomto případě okolo 35 °C. Tím je možné zajistit dostatečné ochlazení akumulátoru a ten není spínán samovolným nárůstem teploty ihned po jeho vypnutí.

Princip napěťového komparátoru spočívá ve dvou děličích napětí. Když se překloupí na závislosti na pinu 2, na OZ je přivedené napětí z napěťového děliče. Odpovídá z rovnice 2, kde $U = 5 \text{ V}$, $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$ a $R_{25} = 5,278 \text{ k}\Omega$ z rovnice pro výpočet odporu NTC termistoru. Vycházel jsem z datasheetu, kde $B = 3977 \text{ K}$, $R_0 = 10 \text{ k}\Omega$ při teplotě $T_0 = 298,15 \text{ K}$ a obecné rovnice 2 pro výpočet odporu NTC termistoru. Pro požadovanou teplotu 40°C z rovnice 2 je odpor NTC termistoru roven hodnotě 5,278kΩ.

$$U_{pin2} = U \times \frac{R_{25}}{R_5 + R_{25}}$$

$$U_{pin2} = 5 \times \frac{5,278}{5,278 + 10} = 1,73 \text{ V}$$

Rovnice 1: Napětí z napěťového děliče na svorce č.2



$$R_{NTC} = R_0 \times e^{B \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

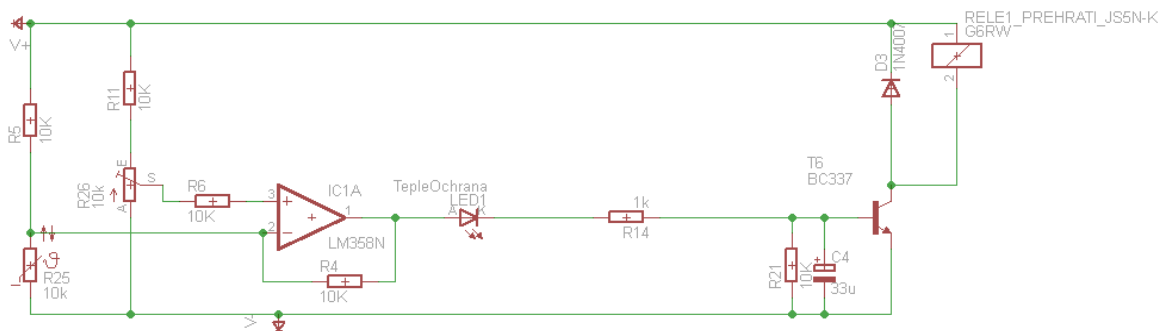
Rovnice 2: Obecná rovnice pro výpočet odporu NTC termistoru.

$$R_{40^\circ C} = 10000 \times e^{3977 \times \left(\frac{1}{313,15} - \frac{1}{298,15} \right)}$$

$$R_{40^\circ C} = 5,278 \text{ k}\Omega$$

Rovnice 3: Pro výpočet odporu NTC termistoru při teplotě 40 °C

Druhý dělič napětí se nastavuje pomocí trimru R_{26} , kde je možné doladit spouštění relé. Součástí obvodu je také signalizace spuštění ochrany v podobě LED.



Obrázek 16: Realizace zapojení ochrany proti přehřátí akumulátoru

4.2 Měřicí obvody

Pomocí měřicího obvodu získáme hodnoty teploty, nabíjecího a vybíjecího proudu a napětí, pro vykreslení zatěžovací charakteristiky akumulátoru. Napětí na akumulátoru měříme tak, že je přivedeno přímo na analogový vstup IT-1604 se softwarově nastaveným rozsahem 0–5 V. Měření nabíjecího proudu procházejícího akumulátorem spočívá ve měření napětíového úbytku na rezistoru R_{28} , jež je nepatrný a proto bylo nutné ho zesílit. To jsem vyřešil pomocí zapojení neinvertujícího operačního zesilovače. Toto zapojení je na obrázku 17.

Při tom jsem vycházel ze známé rovnice 4 pro neinvertujícího zapojení. Jak je patrné z rovnice, výstupní napětí při stejné hodnotě R_{27} , R_3 bude dvojnásobné oproti vstupní hodnotě napětí. Toto napětí je přivedeno opět na analogové vstupy IT-1604 v rozsahu 0–5 V. Poté je tento úbytek napětí softwarově upraven a převeden na proud. Při

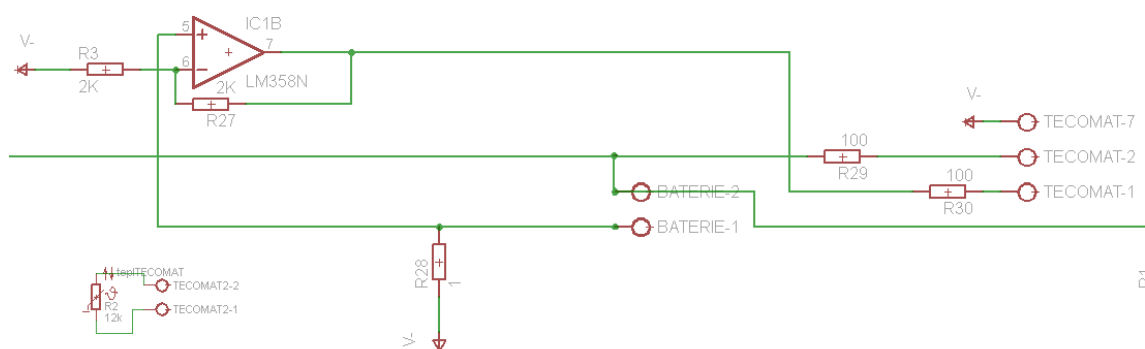


nabíjení akumulátoru dochází k ohřevu akumulátoru. Měření této úlohy provádíme tak, že na akumulátor je připevněn 12 kΩ NTC termistor a pomocí jeho vlastnosti, změny odporu se změnou teploty, měříme teplotu akumulátoru.

$$U_{výst} = U_{vstup} \times \left(1 + \frac{R_{27}}{R_3} \right)$$

Rovnice 4: Neinvertující zapojení OZ

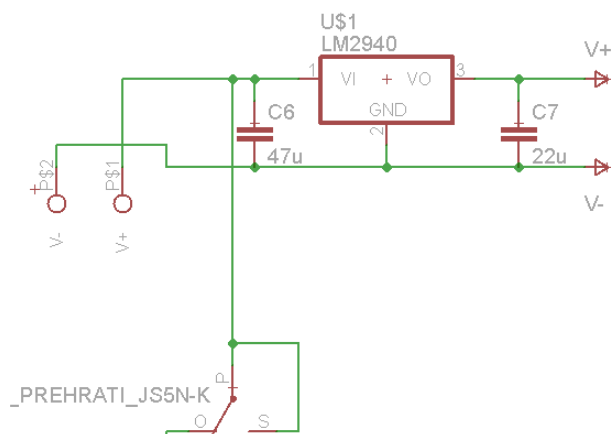
Foxtrot CP-1008 umí přímo nastavit tento NTC termistor, což nám umožňuje v programu přímo generovat hodnotu teploty ve stupních celsia. Tyto naměřené hodnoty lze využít při softwarové ochraně proti přehřátí. Případné malé nepřesnosti se řeší čistě softwarovou cestou. Při měření vybíjecí VA charakteristiky zůstává stejné měření proudu a napětí. Neměří se teplota z důvodu, že při vybíjení nedochází ke změnám teplot u akumulátoru. Ochrana vstupů je realizovaná v podobě 100 Ω odporů, aby nedošlo k poškození vstupů.



Obrázek 17: Zapojení k získání měření parametrů akumulátoru Foxtrotem

4.3 Napájecí zdroje

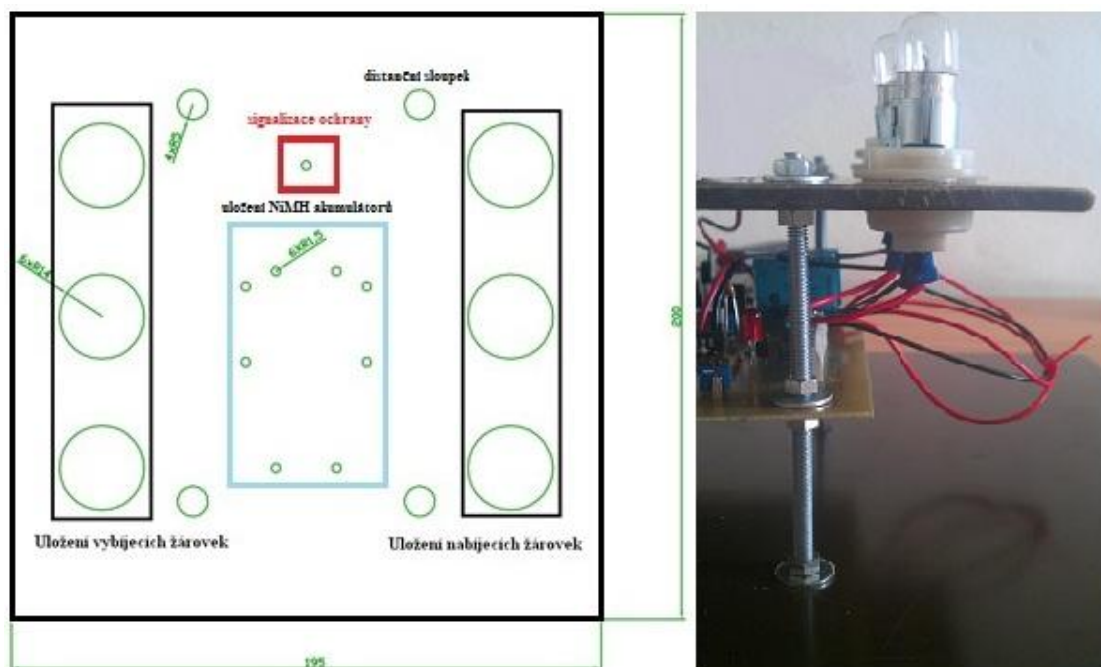
Elektrický obvod je napájen pomocí elektrického adaptéru Power Supply model MW3R15GS, který je zdrojem stejnosměrného napětí činící 9 V, s maximálním odběrem proudu 1500 mA. Pro napájení integrovaných obvodů a také jako zdroj referenční napětí ochranným obvodům slouží napěťový stabilizátor LM2940, který stabilizuje napětí na 5 V, s maximálním odběrem proudu 1 A. Realizace zapojení je dobře vidět na obrázku 18, kde ve schématu V+ symbolizuje zdroj 5 V a V- představuje GND.



Obrázek 18: Realizace napájení elektrického obvodu

4.4 Návrh uložení přípravku

Uložení osazené desky plošných spojů je realizované tak, že je umístěna mezi dvě desky. První deska slouží jako přední panel a je navržena v programu Autocad, obrázek 19 a spodní deska.



Obrázek 19: Přední panel s popisem uložení a distanční můstek

Desky jsou spojené mezi sebou distanční sloupky, utažené maticemi s podložkami. Každou desku drží pevně na místě osm matic s podložkami, jak je vidět na obrázku 19.



5 Software

V první řadě jsem se rozhodl pro program Mosaic, neboť v něm jsou, až na pár nedostatků, zakomponovány všechny prvky hodící se k návrhu a zhotovení mé práce. Umožňuje programovat všechny PLC dodávané firmou TECO. Ačkoli jsem se dříve programování příliš nevěnoval, vybral jsem si pro zpracování úkolu strukturovaný text, který se jevil jako vhodná cesta řešení.

Jeho výhodou je přehlednost a jednoduchost zápisu algoritmu. Programy pro řídicí systémy se skládají z jednotlivých souborů. Některé vytváří sám programátor, jiné jsou tvořeny automaticky jako výsledek práce specializovaného nástroje.

Slabinou programu je absence funkce tvorby grafu pro WebMaker. Graf jsem sestavil ze sady sloupců ovládaných proměnou, kde každý jednotlivý sloupec nabývá své hodnoty v časech a tak vzniká graf. Takto zobrazeny mám grafy pro měření teploty a zatěžovacích charakteristik. Graf pro měření charakteristiky je též možno přibližovat a posouvat pro lepší kontrolu a zápis hodnot. Podobná metoda je uvedena v knihovnách pro jednoduchou tvorbu grafu.

5.1 Program ve strukturovaném textu

Ke strukturovanému textu jsem se rozhodl z potřeby definování datových polí, které potřebuji pro vykreslování grafů. Jelikož mosaic ve WebMakeru nemá komponentu graf, a jejich knihovna pro kreslení grafů pomocí sloupců nesplňovala mé představy, musel jsem se s tímto problémem vypořádat vlastní cestou.

V programu využívám datových typů bool, int a real. Vzhledem k velkému množství proměnných, které si má úloha vyžaduje, je zde nebude všechny zmiňovat. Prvním krokem v mé práci bylo nadefinování polí, do kterých se mi budou ukládat naměřené hodnoty z PLC. Musel jsem se zaměřit na ochranu proti přehřátí, kvůli prevenci poškození NiMH akumulátorů. K těm je připevněn NTC termistor, jehož hodnota je snímána výstupem r0_p3_AI4.ENG. Chtěl jsem využít knihoven Mosaicu, pro ošetření hystereze, ale bohužel nefungovaly. Vymyslel jsem tedy vlastní metodu, kdy pomocí funkcí if, je ošetřeno rozepnutí relé při překročení 40 °C. Pro obsluhu je v grafickém rozhraní umístěno zobrazovací pole, sloužící jako indikace teploty. Tato ochrana je také řešena hardwarově, viz kapitola 4.1.4. Pokud je teplota 40 °C překročena, ovládací prvky se zakryjí a uživatel musí počkat na pokles teploty pod 35 °C. Měření se po tuto dobu poklesu teploty také



zastaví. Před rozepnutím relé se však uloží do paměti stavy sepnutých kontaktů do proměnných `pametvyb1` a `pametnab1`, takže při návratu do podmínek k měření tyto kontakty opět sepnou a měření může pokračovat.

Dále jsem musel ošetřit, aby baterie byly pouze nabíjeny nebo vybíjeny. Tedy pokud se spustí režim nabíjení a proměnná `nab1` má hodnotu 1–3, nelze zapnout vybíjení. Až při nastavení hodnoty na 0, se povolí nastavení hodnot pro vybíjení, v programu hodnota `vyb1`, to samé platí i opačně. V prostředí WebMaker jsou všechny tyto komponenty dobře graficky znázorněny.

Jelikož WebMaker trpí absencí přímou tvorbou grafu a knihovny v Mosaicu mají v příkladech pouze statické úlohy, musel jsem na vykreslení grafů použít prvky ovládané proměnnou. Každý graf se tedy skládá z 32 sloupečků řazených vedle sebe a poté jsem použil proměnné `Vgraf` a `Igraf`, sloužící k definování těchto polí. K nim poté obslužné prvky `casmereni`, `perivzorku`, `grafzmerit`, `grafvzorek` a `mvaluecas`. Jelikož napětí baterií neklesne pod 2,5 V a nepřekročí 5 V, jsou tyto hodnoty v grafu jako mezní, aby samotný graf lépe vypadal.

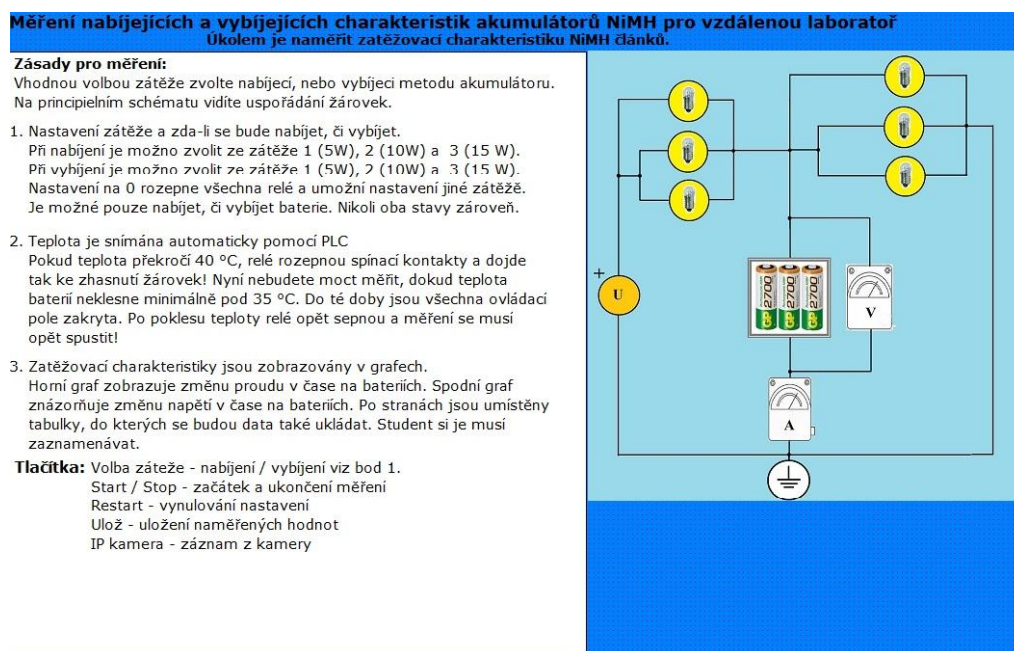
5.1.1 Návrh webové stránky

Protože nelze na stránku vložit funkční tlačítko, které by bylo navázáno na některou proměnnou, musel jsem vložit tlačítko, které odešle ze zadávacích polí hodnoty do proměnných v programu. Použil jsem komponentu nazvanou "prvek pro nastavení hodnoty proměnné". Tato funkce se mi líbila a hojně jsem ji využil při simulování hodnot a zkoušení bez připojeného PLC. Funguje vlastně tak, že po kliknutí na ni, je nastavena hodnota proměnné, se kterou je vázána na hodnotu, kterou definujeme. Hodnota v proměnné zůstává po dobu, než ji program změní. Toho využívám tak, že se dotazuji na hodnotu oné proměnné, kterou mám nastavenou například do typu `bool`. Inu je-li nastavena na `true` vykonám akci a proměnnou nastavím na `false`.

Díky schopnosti Tecomatu, generovat si vlastní webové rozhraní, jsem mohl navrhnout vzhled webu přímo v Mosaicu, již zmiňovaném modulu WebMaker. Zásadní výhodou je, že není nutná znalost tvorby webových stránek, avšak tato výhoda jde na úkor možností, které toto rozhraní nabízí. Nevýhodou je také zastaralá grafika, nepříliš vlnivé uživatelské prostředí, nedostatek grafických objektů omezená na 250, již zmiňovaná absence instantního vložení grafu a funkce tlačítka, proto je pro obsluhu připraven návod k obsluze programu, který je vidět na obrázku 20. Abych nezmiňoval pouze záporné stránky,



výhodou je například přímé vložení obrazu z IP kamery skrze odkaz, ale především plná kompatibilita softwaru a hardwaru.



Obrázek 20: Návod k měření

5.2 IP kamera

Jak již napovídá název práce, jedná se o měření ve vzdálené laboratoři, a proto je potřeba poskytnout uživateli optický přehled o úloze. K tomu slouží kamera od firmy EDIMAX, typ IC-3100. Kamera je zaměřena na žárovky, 2 dekády, které jsou ovládány dle požadavku uživatele. Snímá diodu signalizující stav, ve kterém se úloha nachází, ale také samotné baterie, a žárovky viz obrázek 21.



Obrázek 21: Snímání IP kamerou



5.2.1 Nastavení IP kamery

Jelikož kamera nebyla v továrním nastavení dostupná mimo síť Liane, musel jsem v nastavení na obrázku 22 změnit typ vlastností sítě z pevně nastavené IP adresy na DHCP. Ve WebMakeru poté stačí jen užít poskytované funkce „Obraz z IP kamery“. V nastavení tohoto prvku se pak pouze zadá IP ve formě http adresy a jako koncovka se užije požadovaný formát.

Network

LAN Dynamic DNS UPnP LoginFree RTSP

LAN

✓ Network Type : ☒ DHCP ☐ static IP Address

✓ IP Address :

✓ Subnet Mask :

✓ Gateway :

✓ Primary DNS :

✓ Secondary DNS :

✓ Web Port :

PPPoE

✓ Enable PPPoE : ☐ Enable ☒ Disable

✓ Username :

✓ Password :

✓ MTU : (512 ≤ MTU Value ≤ 1492)

Obrázek 22: Nastavení sítě LAN

5.2.2 Volný přístup

Na obrázku 23 je záložka LoginFree, která poskytuje volný přístup. Jak je vidět v nastavení, mohu zde zadat název souboru, a každý, kdo zná tento název, tak získá přístup k obrazu, jež je zachycen kamerou.

Network

LAN Dynamic DNS UPnP **LoginFree** RTSP

LoginFree

✓ Filename : .jpg

Obrázek 23: LoginFree – volný přístup



5.2.3 Formát záznamu

V záložce „Video“ se skrývá nastavení záznamu obrazu z kamery, přičemž na výběr máme hned ze 4 možností, jak je vidět na obrázku 24.

- M-JPEG
- MPEG-4
- H.264
- OSD

Zvolil jsem si formát M-JPEG v rozlišení 640×480 pixelů. Kvalita záznamu je nastavena na nejvyšší při snímkovací frekvenci 30 snímků / sekundu. Tento video formát se nejčastěji využívá u digitálních a IP kamer. Každý snímek je komprimován zvlášť dle standardu JPEG.

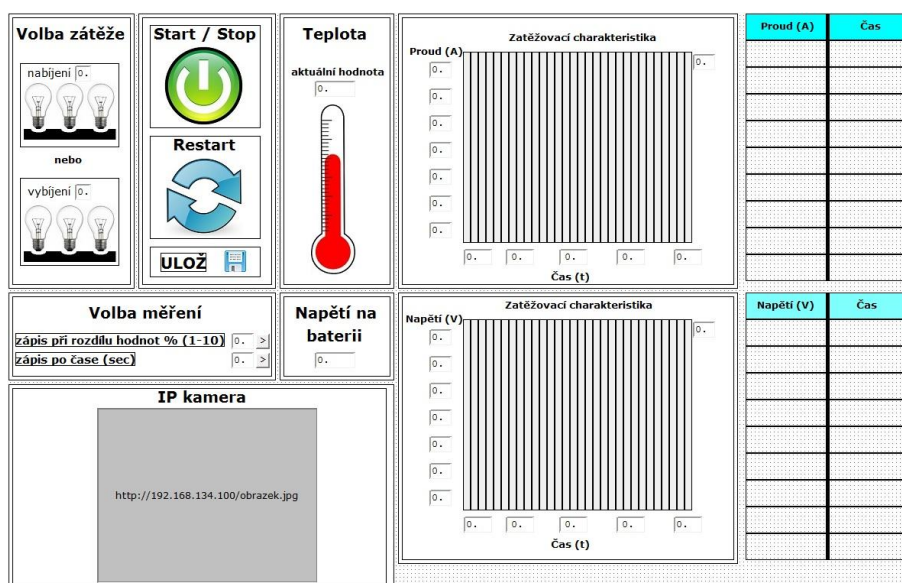
The screenshot shows a window titled "Video" with a grid background. It contains four tabs: "M-JPEG", "MPEG-4", "H.264", and "OSD". The "M-JPEG" tab is selected and highlighted in red. Below the tabs, the "M-JPEG" settings are displayed. There are three green checkmarks indicating that the settings are valid: "Video Resolution" is set to "640 x 480", "Video Quality" is set to "Highest", and "Frame Rate" is set to "30". Each setting is accompanied by a dropdown arrow. At the bottom of the settings area is an "Apply" button.

Obrázek 24: Nastavení formátu výstupu

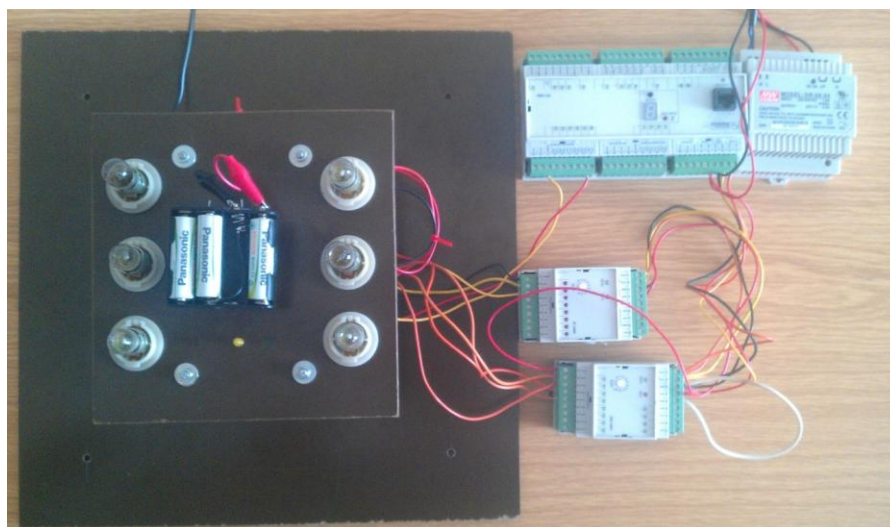


6 Shrnutí vlastností vytvořené úlohy

Pomocí tohoto vyhotoveného přípravku lze měřit nabíjecí a vybíjecí zátěžové charakteristiky NiMH akumulátoru. Je možné ovládat hodnotu vybíjecího a nabíjecího proudu pomocí PLC Foxtrot CP-1008 a pomocí externích modulů získávat požadované měřené hodnoty. Při měření je ošetřena hardwarově i softwarově ochrana proti přehřátí akumulátoru při nabíjení. Tato ochrana je opatřena signalizací v podobě LED, aby bylo možné vidět spouštěnou příslušnou ochranu na IP kameře. Celé ovládání na obrázku 25, je přehledně uzpůsobeno pro obsluhu i s návodem pro měření, viz obrázek 20. Na obrázku 26 je pak vidět konečné sestavení navržené úlohy.



Obrázek 25: Uživatelské prostředí pro ovládání



Obrázek 26: Zhotovení úlohy



Závěr

Podařilo se mi navrhnout a realizovat úlohu pro měření nabíjejších a vybíjejších charakteristik NiMH baterií. Nejprve jsem se seznámil s jejich parametry a vlastnostmi. Dále jsem se musel seznámit s technologií Foxtrot od firmy TECO, jejich funkcí a systémem zapojení. Abych mohl tyto dvě části spojit do jednoho funkčního prvku, naučil jsem se programovat v prostředí Mosaic, pomocí kterého je výsledná úloha řízena.

Pro měření jsem zvolil NiMH články od firmy Panasonic, 1900 mAh a články od firmy GP s kapacitou 2700 mAh. Pro řízení celé úlohy jsem zvolil modul Foxtrot CP-1008, jako hlavní řídicí jednotku. Dále jsem ke spínání zátěží použil rozšiřující modul OS-1401 pro navýšení základního počtu vstupů a výstupů. Jako poslední jsem potřeboval přidat modul IT-1604 pro měření hodnoty napětí a teploty na akumulátoru. Tyto 3 prvky jsou napájeny napájecím modulem DR-60-24, který poskytuje výkon 60 W a napětí 24 V DC. K nabíjení pak slouží regulovatelný pulsní adaptér MW3R15GS 1500 mA, který má na výstupu 9 V DC.

Abych měl na čem měření provádět, navrhl jsem si nejprve zapojení v programu Eagle. Navržené schéma jsem následně vyleptal na fotocitlivou desku a poté osadil příslušnými součástkami, již zmiňovanými v práci. Takto navržená deska je osazena náležitým počtem svorkovnic (celkem 18), pro připojení všech potřebných komponent (PLC, moduly, baterie, žárovky, napájení).

Pro synchronizaci všech prvků jsem poté použil program Mosaic, ve kterém jsem formou strukturovaného textu, podobného Pascalu, napsal kód a navrhl prostředí k ovládání tohoto zapojení. Obsluha má pak k dispozici web, kde je návod k provedení měření a část pro samotné měření. V poslední části je výstup z IP kamery, která je připojena skrze DHCP síť. Kamera je umístěna tak, aby uživatel viděl signalizaci stavu ochrany přehrátí, LED diodu. Dále žárovky, na kterých je opticky možno určit právě navolenou zátěž a stav nabíjení či vybíjení.

Celé zapojení je sestaveno do konstrukce, kde vrchní deska je osazena žárovkami, bateriemi a signalizační diodou. Prostřední článek tvoří elektronické zapojení a spodní deska slouží jako podložka, viz obrázek 25. Všechny tyto vrstvy jsou odděleny distančními můstky viz obrázek 19.

Práce mne potěšila tím, že jsem využil znalostí získaných v dosavadním studiu, jak z oboru elektroniky, ale také programování, informatiky a měření. Přínos své práce vidím v



užití pro studenty na kombinovaném studiu. Mohou tak měřit úlohy, ke kterým se jení studenti dostanou na prezenčním studiu. Svou úlohu však shledávám časově náročnou, proto si myslím, že tímto vzdáleným řešením jsem také umožnil měření jiných úloh na hodinách ve škole.



Seznam použité literatury

- [1] *ĎAĎO, S; KREIDL, M. Měřicí převodníky fyzikálních veličin. Praha : Skriptum ČVUT FEL, 1990.*

- [2] *JELINEK, Jiří. Měření fyzikálních veličin. Liberec: Přednášky TUL, 2012.*

- [3] *KOLÁŘ, Milan. Analogová elektronika. Liberec: Přednášky TUL, 2012.*

- [4] *PUNČOCHÁŘ, Josef. Operační zesilovače v elektronice. Páté vydání. Praha: BEN - Technická literatura, 2005. 496 s. ISBN 80-7300-059-8.*

- [5] *CENEK, Miroslav a kolektiv. Akumulátory a baterie. Praha : STRO.M, 1996.*

- [6] *BATTEX spol. s.r.o., NiMH akumulátory [online].[cit. 2013-03-04]. Dostupné z: <<http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-hermetickych-nimh-akumulatoru>>*

- [7] *Datový list TECO A.S. Rozšiřující I/O moduly: Rozšiřující modul Foxtrot OS-1401. [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/PRINTS/Cat_Foxtrot-CZ-datasheets/Foxtrot-CZ-OS-1401.pdf>*

- [8] *Datový list TECO A.S. Rozšiřující I/O moduly: Rozšiřující modul Foxtrot IT-1601 . [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: < http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/PRINTS/Cat_Foxtrot-CZ-datasheets/Foxtrot-CZ-IT-1604-1602.pdf>*



- [9] *Příručka projektanta systému FOXTROT. Příručka projektanta systému FOXTROT [online]. 2012, č. 1, s. 73 [cit. 2012-10-08]. Dostupné z:*
<http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/TXV00411_01_Foxtrot_DesignManual_cz.pdf>.
- [10] *Programování PLC podle normy IEC 61131-3 v prostředí MOSAIC [online]. [cit 2012 -12-20]. Dostupné z:*
<http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/TXV00321_01_Mosaic_ProgIEC_cz.pdf>
- [11] *NI-MH BATTERIES IN PRACTICE [online]. Experimentální měření. VUTBR. Brno, 2003 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z:*
<http://www.feec.vutbr.cz/EEICT/2003/fsbornik/99-CD/02-Mgr/06-Microelectronics_and_Technology/02-brzokoupil_vladimir.pdf>.



Přílohy

Přiložené CD ROM

CD ROM obsahuje následující složky:

- soubor pdf s touto prací
- schémata navržená v programu Eagle
- demonstrační aplikaci a její projekt exportovaný z Mosaic
- datasheety základních součástek
- seznam použitých součástek